

**DAMPAK LOGAM BERAT TERHADAP PERUBAHAN POLIMORFISME IKAN
BADUKANG (*Arius* sp.) DI ESTUARIA MUARA SUNGAI KAHAYAN
DAN KATINGAN KALIMANTAN TENGAH**

**[Impact of heavy metals on polymorphism changes of catfish (*Arius* sp.)
in estuaries of Kahayan and Katingan Rivers, Central Kalimantan]**

Edison Harteman¹⁾, Dedi Soedharma²⁾, Adi Winarto³⁾, dan Harpasis S. Sanusi²⁾

¹⁾Mahasiswa Sekolah Pascasarjana IPB.

²⁾Staf Pengajar Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK IPB.

³⁾Staf Pengajar Departemen Anatomi Hewan, FKH IPB

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate impact of metal pollutants: Pb, Cd, and Hg on morphism changes of fish phenotype through concentration and bio-concentration factor (BCF). The study site was located in the river mouths of Kahayan River and Katingan River. Samples collected were water sample and fish sample with malformation on pectoral and caudal hard fin rays. Water sample and fish bone were analysed by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results indicated that lead (Pb) concentration in the estuary and in pectoral and caudal hard fin rays was the highest compared to cadmium (Cd) and mercury (Hg) concentration. It may because Cd and Hg have high affinity to bone tissue of pectoral and caudal hard fin rays than Pb. The highest lead concentration in the water could cause high its metal in bone tissue. If metal in river mouth has not detected or low concentration than standard values of water and biota, it does not mean the water safe to fish and other aquatic organism because heavy metal has been continuously accumulated in tissue. Pb, Cd and Hg have ability to replace Calcium in Phosphate of cell of pectoral and caudal fins. This causes inhibited Ca absorption into bone cell. As consequence, chemical composition on bone changes the bone experiences softening inhibited hardening, and malformation. Bone malformation was caused by changes of bone chemical composition and environmental effects.

Key words: impact, heavy metals, concentration, bioconcentration, phenotype, morphism.

PENDAHULUAN

Kegiatan manusia di Kalimantan Tengah seperti eksploitasi tambang emas, kerusakan hutan dan pembukaan lahan pertanian serta perkebunan merupakan sumber pencemaran lingkungan perairan. Hutan berperan penting pada penutupan permukaan tanah. Tanpa hutan permukaan tanah akan tererosi oleh air hujan. Menurut Hamblin dan Christiansen (2004), Kalimantan Tengah termasuk wilayah daratan dengan erosi rendah sampai tinggi. Erosi permukaan mengakibatkan pelepasan ion-ion logam dari butiran tanah ke air. Ion-ion logam bersama aliran air permukaan masuk ke danau, sungai, estuaria dan laut (Eisler 2006). Secara alamiah kerak bumi (litosfer) mengandung sekitar 0,098 mgCd/kg (Heinrichs *et al.*, 1980 dalam Darmono 2001), selanjutnya dikatakan bahwa tanah lahan pertanian yang tidak tercemar mengandung Cd berkisar antara 0,1-1 mg/kg. Sedimen air tawar endapan arus sungai mengandung Cd berkisar antara 0,03-0,40 mg/kg. Konsentrasi total Hg di permukaan tanah pada tumbuhan yang terbakar berkisar 0,3-1,47 mg/kg berat kering, di bawah

permukaan tanah berkisar antara 0,09-2,3 mg/kg berat kering (Eisler 2006). Kebakaran hutan menyebabkan peningkatan konsentrasi total logam Hg di perairan danau (Kelly *et al.*, 2006).

Kegiatan penambangan emas di pedalaman di Kalimantan Tengah merupakan sumber pencemaran Hg dan Pb di perairan sungai danau. Menurut Hartoto dan Awalina (2000), sungai dan danau di Sungai Kahayan dan Sungai Rungan mengandung Pb di air antara 0,024-0,173 mg/L, sedimen antara 646 -16,54 mgPb/kg. Global Mercury Project (2005), Sungai Katingan mengandung Hg di berkisar antara 0,06-0,23 mg/L dan kolam bekas penambangan emas sekitar 1,60 mg/L. Kepekatan beberapa logam Cd di sungai sekitar 0,03 ppb dan laut sekitar 0,05 ppb, Hg di sungai sekitar 0,07 ppb dan di laut sekitar 0,05 ppb, Pb sekitar 3,0 ppb dan di laut sekitar 0,03 ppb (Bryan 1976 dalam Connell 1995). Masalah pencemaran global saat ini mengganggu ekosistem estuaria dan laut. Oleh karena beberapa logam seperti Pb, Cd, dan Hg memiliki sifat reaktif dan akumulatif serta terbiokonsentrasi di jaringan tubuh ikan dan pada konsentrasi tertentu

menyebabkan gangguan di jaringan tubuh ikan (Connell 1990; Manahan 2003; Dara 1997). Pemantauan kualitas lingkungan estuaria jarang dilakukan dan baru dilakukan setelah terlihat dengan jelas dampaknya terhadap manusia. Pemantauan lingkungan jarang dilakukan oleh karena memerlukan biaya tinggi dan peralatan serta keahlian khusus.

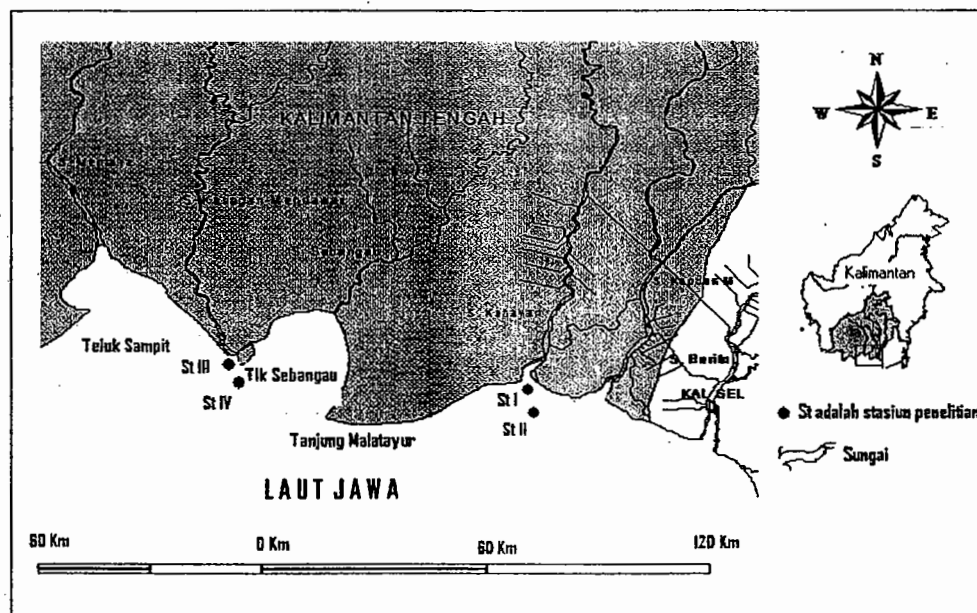
Pencemaran logam di perairan menyebabkan tubuh ikan terkontaminasi di jaringan dan hal ini jarang diketahui oleh konsumen dan nelayan. Padahal logam ini akan berikatan dengan sel-sel jaringan tulang keras duri sirip dada dan punggung, dan jaringan tubuh lainnya. Ikatan logam dengan sulfhidril (-SH) dan PO_4 menyebabkan terhambatnya absorpsi Ca dan Cu. Perubahan komposisi kimia tulang keras duri sirip dada dan punggung ikan oleh logam Pb, Cd, dan Hg berpengaruh terhadap pertumbuhan matrik dan bentuk tulang serta morfisme fenotipik ikan. Selain itu, lingkungan perairan ikut berpengaruh terhadap pertumbuhan bentuk duri sirip keras ikan.

Tujuan penelitian adalah mengkaji dampak logam Pb terhadap perubahan morfisme fenotipik ikan, jenis logam yang memiliki afinitas tinggi dengan tulang. Kegunaan adalah sebagai bioidikator pencemaran logam beracun.

BAHATANMETODE

Penelitian ini dilakukan di wilayah muara Sungai Kahayan dan Katingan Kalimantan Tengah. Penelitian lapangan dilakukan pada bulan Agustus-September 2005 dan Desember 2005-Januari 2006. Pada masing-masing muara Sungai Kahayan terdiri atas stasiun I dan II, muara Sungai Katingan terdiri atas stasiun III dan IV (Gambar 1). Pengambilan contoh ikan dan air dilakukan dengan menggunakan *purposive sampling* (Gunarya 1985; Sevilla *et al.* 1993). Strategi ini menyebabkan tidak semua lokasi dan ikan mempunyai peluang yang sama sebagai lokasi pengambilan contoh. Observasi dilakukan untuk mengumpulkan data dan pengamatan terhadap fenomena perubahan karakteristik morfisme fenotip ikan badukang (*Arius* sp.).

Pengambilan contoh ikan tangkapan menggunakan rawai (*long line*) pada masing-masing stasiun. Pengamatan ikan pada stasiun (St) I, II, III, dan IV dilakukan terhadap morfisme fenotip ikan yang normal dan yang mengalami malformasi. Tulang keras duri sirip dada dan punggung ikan contoh yang mengalami malformasi difoto dan diambil contohnya untuk diperiksa kandungan Pb, Cd, dan Hg serta dianalisis dengan Spektrofotometrik Serapan Atom



Gambar 1. Lokasi stasiun penelitian (St) I dan St II di perairan estuaria muara Sungai Kahayan, St III dan St IV di perairan estuaria muara Sungai Katingan

(AAS). Pengambilan contoh air pada setiap stasiun dilakukan menggunakan "Kemmerer Bottle Water Sampler" sebanyak 400 ml yang dikemas dalam botol plastik. Contoh air diawetkan dengan menggunakan asam nitrat (HNO_3) sampai pH 2.

Afinitas logam Pb, Cd, dan Hg dengan tulang keras duri sirip dada dan punggung dianalisis faktor biokonsentrasi. Analisis faktor biokonsentrasi dengan menggunakan persamaan Freundlich (Connell 1995) sebagai berikut: $C_b = K_b / C_w$. C_b adalah faktor biokonsentrasi, K_b adalah kepekatan dalam logam dalam tulang, dan C_w adalah kepekatan logam di air.

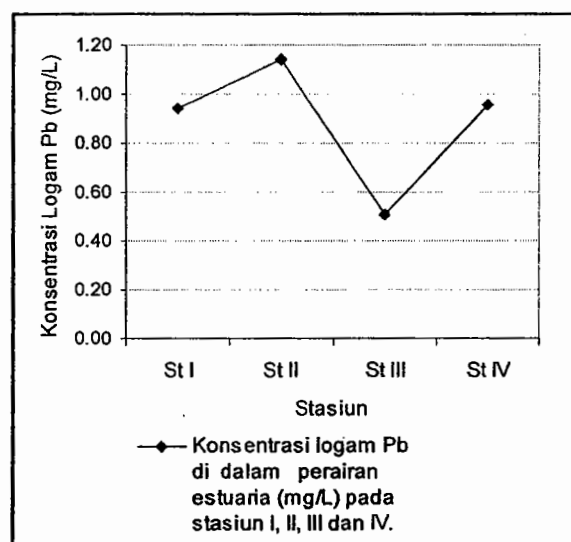
Perubahan karakteristik morfisme fenotipik ikan dijelaskan secara deskriptif yang dihubungkan konsentrasi dan faktor biokonsentrasi. Metode deskriptif ini digunakan untuk menjelaskan gejala-gejala dan sebab-sebab terjadinya perubahan fenotip ikan karena pengaruh pencemaran (Gunarnya 1985; Sevilla *et al.* 1993).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi logam Pb di perairan

Hasil analisis konsentrasi logam Pb di dalam perairan estuaria pada stasiun I di wilayah estuaria muara Sungai Kahayan berkisar antara 0,71 mg/L-1,29 mg/L dan rata-rata 0,94 mg/L, sedangkan konsentrasi logam Pb di dalam perairan estuaria pada stasiun II berkisar antara 0,85 mg/L-1,53 mg/L dan rata-rata 1,14 mg/L. Pada stasiun III di wilayah muara sungai kahayan berkisar antara 0,14 mg/L-1,11 mg/L dan rata-rata 0,51 mg/L. Konsentrasi logam Pb di perairan estuaria pada stasiun IV berkisar antara 0,41 mg/L-2,11 mg/L dan rata-rata 0,96 mg/L (Gambar 2). Terlihat bahwa konsentrasi logam Pb bervariasi. Konsentrasi logam Pb di dalam perairan estuaria pada stasiun II lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi logam Pb dalam perairan estuaria stasiun I. Konsentrasi logam Pb di perairan estuaria pada stasiun IV lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi logam Pb dalam perairan estuaria stasiun III. Konsentrasi logam Pb di perairan estuaria pada stasiun I dan II di wilayah muara Sungai Kahayan cenderung lebih tinggi dibanding dengan perairan stasiun III dan IV. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan manusia di daerah aliran Sungai Kahayan bagian hulu dan pantai lebih tinggi dibanding dengan daerah aliran

Sungai Katingan. Konsentrasi logam Pb perairan laut sekitar 0,03 $\mu\text{g/L}$ (Waldichuk, 1974). Baku mutu air laut untuk biologis yang ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia sekitar 0,008 mg/L (Menteri Negara Lingkungan Hidup 2004). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi logam Pb lebih tinggi daripada nilai baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam tersebut berbahaya terhadap spesies ikan dan organisme perairan lainnya.

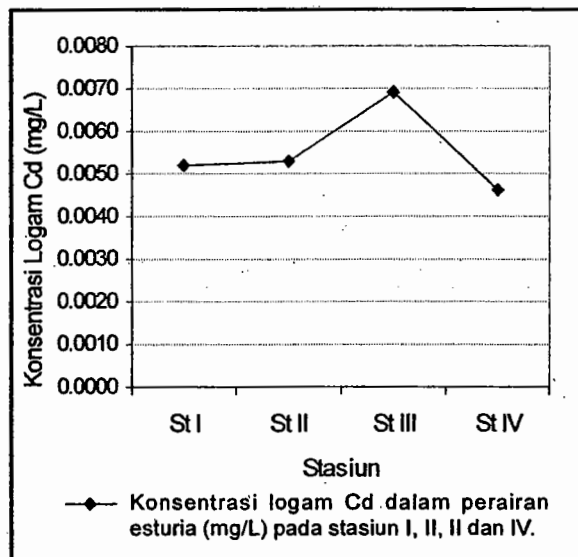


Gambar 2. Nilai rata-rata konsentrasi logam Pb di perairan estuaria di stasiun I dan II di muara Sungai Kahayan, dan stasiun III dan IV di muara Sungai Katingan

Konsentrasi logam Cd di perairan

Hasil analisis konsentrasi logam Cd dalam perairan estuaria di- wilayah muara Sungai Kahayan pada stasiun I berkisar antara 0,0042 mg/L-0,0062 mg/L dan rata-rata 0,0052 mg/L, sedangkan pada stasiun II berkisar antara 0,0041 mg/L-0,0072 mg/L dan rata-rata 0,0053 mg/L. Di wilayah muara Sungai Katingan stasiun III konsentrasi logam Cd berkisar antara 0,0051 mg/L-0,0091 mg/L dan rata-rata 0,0069 mg/L, sedangkan stasiun IV berkisar antara 0,0010 mg/L-0,0059 mg/L dan rata-rata 0,0046 mg/L (Gambar 3). Konsentrasi logam Cd di perairan estuaria bervariasi. Konsentrasi logam Cd di perairan estuaria pada stasiun I dan II tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa Cd menyebar hampir merata ke perairan. Konsentrasi

logam Cd di perairan stasiun III lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi logam Cd di perairan estuaria pada stasiun IV. Hal ini menunjukkan bahwa debit air sungai dan perairan stasiun III mengandung logam Cd rata-rata lebih tinggi dibanding stasiun IV. Konsentrasi logam Cd di stasiun I dan St II lebih rendah dibanding dengan di stasiun III. Konsentrasi logam Cd di stasiun I dan St II lebih tinggi dibanding dengan di stasiun IV. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cd di perairan muara Sungai Kahayan dan Katingan berbeda. Konsentrasi logam di muara Sungai Katingan tinggi dibanding dengan perairan yang lebih jauh dari muara. Konsentrasi logam Cd perairan laut sekitar 0,11 µg/L (Waldichuk, 1974). Baku mutu air laut untuk biologis yang ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia sekitar 0,001 mg/L (Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2004). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cd lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi yang ditetapkan oleh pemerintah, sehingga hal ini dapat mengancam kehidupan ikan dan organisme lainnya.



Gambar 3. Nilai rata-rata konsentrasi logam Cd di perairan estuaria di stasiun I dan II di muara Sungai Kahayan, dan stasiun III dan IV di muara Sungai Katingan

Konsentrasi logam Hg di perairan

Hasil analisis konsentrasi logam Hg di perairan estuaria pada stasiun I dan II di muara Sungai Kahayan lebih rendah dari 0,001 mg/L, demikian pula

dengan konsentrasi logam Hg di stasiun III dan IV di muara Sungai Katingan. Hal ini terjadi karena ion-ion Hg yang memasuki badan air di wilayah hulu terikat dengan partikel-partikel lumpur mengendap di dasar perairan dan terikat dengan plankton serta partikel-partikel tersuspensi. Konsentrasi logam Hg di perairan laut sekitar 0,15 µg/L (Waldichuk, 1974). Baku mutu air laut untuk biologis yang ditetapkan oleh Pemerintah Republik Indonesia sekitar 0,001 mg/L (Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2004). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam Hg sangat rendah di perairan. Logam Hg di sedimen dan interstitial dapat terangkat ke permukaan badan air akibat gelombang dan terakumulasi di jaringan tubuh ikan dan organisme lainnya. Menurut Eisler (2006), konsentrasi logam Hg berkisar antara 0,03-1,0 ppb berpengaruh terhadap spesies perairan dan mengancam kelangsungan hidupnya.

Pengaruh logam Pb, Cd, dan Hg terhadap morfisme ikan badukang (*Arius* sp.)

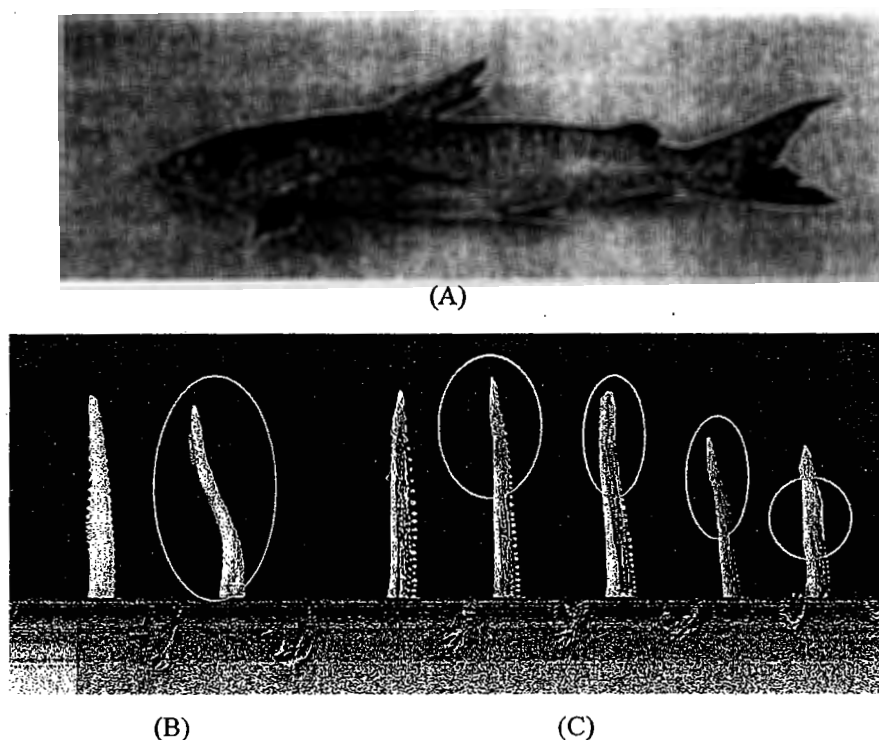
Jenis ikan badukang (*Arius* sp.) adalah ikan laut penghuni dasar perairan pantai dan estuaria. Ikan ini termasuk kelompok ikan karnivor dan pemangsa ikan-ikan kecil, anak-anak rajungan dan udang serta polikaeta serta hewan dasar lainnya.

Hasil analisis tulang keras duri sirip (spine) dada dan punggung ikan mengakumulasi logam Pb dengan konsentrasi berkisar antara 0,57 mg/kg-0,96 mg/kg dengan nilai rata-rata 0,76 mg Pb/kg; mengakumulasi logam Cd dengan konsentrasi berkisar antara 0,0654 mg/kg-0,0831 mg/kg dengan nilai rata-rata 0,0715 mg Cd/kg; mengakumulasi logam Hg dengan konsentrasi berkisar antara 0,0077 mg/kg-0,0174 mg/kg dengan nilai rata-rata 0,0108 mg Hg/kg. Tulang duri sirip keras dada dan punggung mengakumulasi logam Pb dengan konsentrasi lebih tinggi daripada logam Cd dan Hg, sedangkan tulang keras duri sirip dada dan punggung mengakumulasi logam Cd lebih tinggi dibanding dengan logam Hg. Hal ini menunjukkan bahwa tulang duri sirip keras dada dan punggung ikan mengandung logam Pb dengan konsentrasi lebih tinggi daripada logam Cd dan Hg. Keadaan ini berpengaruh terhadap komposisi kimia logam di tulang, sehingga mengakibatkan tulang

mengalami keterlambatan pengerasan. Tulang keras duri sirip dada dan punggung ikan yang mengalami keterlambatan pengerasan mengakibatkan malformasi.

Hasil analisis faktor biokonsentrasi (BCF) logam Cd di tulang dada dan punggung ikan berkisar antara 10,90-13,86 kg/L dengan nilai rata-rata $11,91 \times 0,0055$ mg/L; logam Hg dengan biokonsentrasi berkisar antara 7,68- 17,41 mg/L dengan nilai rata-rata $10,75 \times 0,001$ mg/L; logam Pb dengan biokonsentrasi berkisar antara 0,64-1,08 kg/L dengan nilai rata-rata $0,86 \times 0,8875$ mg/L. Tulang keras duri sirip dada dan punggung mengakumulasi logam Cd dengan biokonsentrasi lebih tinggi dibanding dengan logam Hg dan Pb, sedangkan tulang keras duri sirip dada dan sirip punggung mengakumulasi logam Hg dengan biokonsentrasi lebih tinggi dibanding dengan logam Pb. Biokonsentrasi logam Cd dan Hg tidak menunjukkan perbedaan besar, tetapi berbeda sangat nyata dibanding dengan logam Pb. Hal ini menunjukkan bahwa logam Cd dan Hg

memiliki afinitas paling tinggi dengan tulang keras duri sirip dada dan punggung. Afinitas logam Cd dan Hg tidak menunjukkan perbedaan besar. Logam Cd dan Hg berikatan sangat kuat dengan jaringan tulang. Oleh karena itu logam Cd dan Hg memiliki daya racun paling tinggi dibanding dengan logam Pb. Menurut Mukhtasor (2007), logam Hg dan Cd memiliki daya racun yang lebih tinggi dibanding Pb dan bersifat akumulatif dengan jaringan tubuh. Logam Hg, Cd, dan Pb memiliki afinitas dengan sulfhidril (-SH). Sekitar 90 % logam Pb yang memasuki jaringan tubuh terakumulasi di tulang (Manahan 2003). Ion-ion logam Hg, Cd, dan Pb memiliki kapasitas menghambat penyerapan kalsium (Ca) ke tulang dan kerja enzim alkaline phosphatase dan acid phosphatase yang berperan dalam proses metabolisme (Heath, 1987). Logam Hg, Cd, dan Pb juga menghambat penyerapan tembaga (Cu) yang berperan dalam pembentukan sel-sel tulang dan metabolisme.



Gambar 4. Perubahan morfisme fenotip ikan badukang (*Arius* sp): (A) Ikan dengan tulang keras duri sirip punggung dalam keadaan abnormal (malformasi). (B) Tulang keras duri sirip punggung nomor 1 sebelah kiri normal dan nomor 2 abnormal (malformasi). (E) Tulang keras duri sirip dada nomor 1 sebelah kiri normal dan nomor 2 sampai 5 abnormal (malformasi). Tanda lingkaran menunjukkan tulang keras duri sirip yang abnormal

Irianto (2007) mengemukakan bahwa logam tembaga (Cu), kalsium (Ca), dan fosfor (P) berperan penting dalam pembentukan matrik tulang dan proses pengerasan tulang. Penyerapan Ca dan Cu serta P ke dalam tulang terhambat menyebabkan tulang lunak dan rapuh serta bentuk morfisme tulang tidak normal (Gambar 2). Oleh karena dalam pembentukan matrik tulang diperlukan kalsium dalam konsentrasi cukup. Kekurangan Ca di tulang terjadi karena PO_4 terikat dengan logam Pb, Cd, dan Hg. Padahal PO_4 seharusnya mengikat Ca dari sel-sel darah merah dan disimpan di tulang. Oleh karena logam berat berikatan dengan PO_4 maka Ca semakin berkurang di tulang. Kekurangan Ca menyebabkan terjadi malformasi tulang keras duri sirip dada dan punggung ikan. Terjadinya malformasi dipengaruhi perubahan komposisi kimia di dalam tulang dan lingkungan habitat. Terjadi malformasi disebabkan oleh proses adaptasi dengan lingkungan (Wagner dan Misof 1992). Pengaruh logam Hg dapat menyebabkan terjadi kerusakan dan cacat permanen pada jaringan tubuh (Eisler 2006).

Jumlah dan persentase perubahan morfisme fenotip ikan yang mengalami perubahan bentuk tulang duri sirip keras dada lebih tinggi dibanding dengan sirip punggung (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa tulang duri sirip keras dada mengalami malformasi. Kekurangan Ca menyebabkan jaringan tubuh ikan kurang peka terhadap perubahan lingkungan. Kalsium memegang peranan penting sebagai penyampai pesan antara sel-sel jaringan ikan dengan lingkungan habitat (Cowan, 1993). Kekurangan Ca di tulang memengaruhi komunikasi antar jaringan tubuh dengan lingkungan perairan. Lippard dan Berg (1994)

menyatakan kalsium di jaringan tubuh hewan berfungsi sebagai pemicu rangsangan saraf untuk komunikasi antar sel-sel dan jaringan dengan lingkungan. Jadi Ca di sel-sel jaringan tubuh ikan berperan penting sebagai reseptor kimia yang menerima dan memberi respon antar jaringan dan lingkungan. Kalsium (Ca^{+2}) dan fosfat (P) darah serta vitamin D berperan dalam merangsang produksi hormon pertumbuhan tulang. Kekurangan kalsium dan fosfor menyebabkan terhambatnya pembentukan matrik tulang dan pengerasan tulang. Kekurangan Ca dan P serta vitamin A tidak menghasilkan matrik tulang yang sempurna. Hal tersebut menyebabkan terjadi penurunan proses modeling dan keseimbangan antara peletakan tulang (Leeson *et al.*, 1996). Garam-garam anorganik yang bertanggung jawab atas kakunya dan perubahan bentuk tulang adalah kalsium fosfat ($Ca(PO_4)_2$) dan kalsium karbonat ($CaCO_3$). Tulang mengandung kalsium fosfat sekitar 85 %, kalsium karbonat sekitar 10 %, kalsium fluorida serta magnesium fluorida. Logam Pb, Cd, dan Hg dapat mengganti ikatan kalsium fosfat tulang, sehingga penyerapan kalsium dan tembaga terhambat. Kalsium berperan dalam memicu pertumbuhan dan komunikasi antar sel-sel dan jaringan (Connell, 1995).

KESIMPULAN

Perairan estuaria di muara Sungai Kahayan dan Katingan mengandung logam Pb dengan konsentrasi logam lebih tinggi dibanding dengan logam Cd dan Hg, sedangkan logam Cd lebih tinggi dibanding dengan logam Hg. Konsentrasi logam Hg dan Cd di perairan rendah dan tidak terdeteksi dengan suatu alat

Tabel 1. Jumlah dan persentase ikan yang mengalami perubahan morfisme akibat hidup di lingkungan tercemar logam Cd dan Hg serta Pb pada fenotip ikan badukang (*Arius* sp.)

Stasiun	Jumlah ikan badukang	Perubahan morfisme fenotip	
		Bentuk tulang keras duri sirip punggung ikan	Bentuk tulang keras duri sirip dada ikan
I	53	17	12
II	51	12	21
III	53	21	20
IV	44	9	16
Jumlah	202	49	69
Persentase (%)		24,3	34,2

dikatakan bahwa jaringan tubuh ikan bebas dari logam. Oleh karena logam ini reaktif dan memiliki afinitas yang tinggi dengan jaringan tulang keras duri sirip dada dan punggung serta jaringan tubuh ikan lainnya.

Hasil analisis biokonsentrasi logam Cd dan Hg serta Pb di tulang keras duri sirip dada dan punggung ikan menunjukkan bahwa logam Cd dan Hg memiliki afinitas tinggi dibanding dengan logam Pb. Hal ini menunjukkan bahwa logam Cd dan Hg terikat kuat di sulfhidril (-SH) dibanding logam Pb dan menghambat PO_4 menyerap Ca.

Secara sinergis logam Pb, Cd, dan Hg mengganti ikatan kalsium fosfat ($Ca(PO_4)_2$) pada sekelompok sel-sel tulang keras duri sirip dada dan punggung ikan yang mengandung sulfhidril (-SH). Hal ini menyebabkan konsentrasi Ca di sel-sel tulang menurun dan mengakibatkan tulang melunak, sehingga tulang mengalami malformasi. Malformasi pada tulang keras duri sirip dada dan punggung dipengaruhi perubahan komposisi logam di tulang dan lingkungan habitat ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Connell, DW. 1995. *Bioakumulasi senyawa xenobiotik*. UI-Press. 231 Hal.
- Cowan, J A. 1993. *Inorganic biochemistry. An introduction*. VCH. Publ, Inc. New York. 349 p.
- Dara, S S. 1997. *Environmental chemistry and pollution control*. S. Chand & Com. Ltd. Ram Nagar, New Delhi. 242 P.
- Darmono. 2001. *Lingkungan hidup dan pencemaran*. UI-Press. 179 Hal.
- Eisler, R. 2006. *Mercury hazards to living organisms*. CRC, London. 312 p.
- Global Mercury Project. 2003. *Results of environmental assessment of mercury (Hg) contamination in Kalimantan*. Global Mercury Project-GEP-UNDP-UNIDO. 11 p.
- Gunarya, A. 1985. *Wawasan dasar metodologi penelitian*. Bandung. 155 hal.
- Hamblin, W K. dan E.H Christiansen. 2004. *Earth's dynamic systems*. 10th Ed. Prentice-Hall, Inc, New Jersey. 787 P.
- Hartoto, D.I. dan Awina. 2000. Metals bioconcentration of freshwater fishes in Central Kalimantan as an evaluation criteria for management of inland water fishery reserve. *Jurnal Ilmiah Berita Biologi*. 5(3):303-311.
- Heath, A G. 1987. *Water pollution and fish physiology*. CRC Press, Boca Raton. 245 p.
- Irianto, K. 2007. *Struktur dan fungsi tubuh manusia untuk paramedis*. Krama Widya. 440 Hal.
- Kelly E N., DW Schnidler, VLS Luis S, DB Donal, dan KE Vladicka. 2006. Forest fire increases mercury accumulation by fishes via food web restructuring and increased mercury input. *PNASJ*. 103 (51): 19380-19385.
- Leeson, CR., TS Leeson, dan AA. Paparo. 1996. *Histologi*. EGC. Terjemahan Staf Ahli Histologi FKUI. 622 hal.
- Leonov, GA., IS. Lomonosov, AN Suturin, dan AO Shepot'ko. 1993. Toxic Effects of Lead Compounds on Hydrobionts and Waterfowl: A Survey. *Hydrobio. J*. 29 (3): 82-110.
- Lippard S J. dan J M. Berg. 1994. *Principles of bioinorganic chemistry*. Univ. Sci. Books Mill Valley, California. 411 p.
- Manahan S E. 2003. *Toxicological chemistry and biochemistry*. 3rd Ed. Lewis Publ. CRC, London. 425 p.
- Mukhtasor. 2007. *Pencemaran pesisir dan laut*. Pradnya Paramita. Jakarta. 322 Hal.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup RI. 2004. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut.
- Sevilla, CG, JA Ochave, TG Punsalan, BP Regala, dan GG Uriarte. 1993. Pengantar metode penelitian. Diterjemahkan oleh Alimuddin Tuwu dan Alam Syah. Jakarta. UI Press. 315 Hal.
- Wagner, G P dan BY Misof. 1992. Evolutionary modification of regenerative capability in vertebrates: A comparative study on teleost pectoral fin regeneration. *J. Exper. Zool*. 261 (1): 62-78.
- Waldichuk, M. 1974. Some biological concerns in heavy metals pollution. In Vernberg & Vernberg (Eds.). *Pollution and physiology of marine organism*. Academic Press, London.